# 宁夏石嘴山市引黄灌区地下水时空变化特性及影响因素

张 娜， 韩小龙， 汤 英， 张红玲， 刘学军
（宁夏回族自治区水利科学研究院，宁夏 银川 750021）

**摘 要：**以宁夏石嘴山市引黄灌区为研究对象，基于灌区内76眼长序列地下水监测井，利用经典统计与地统计相结合的方法，对灌区地下水埋深的时空分布进行分析，并通过偏相关分析确定其影响因素。结果表明：(1) 近20 a地下水埋深整体呈增大趋势，增大总幅度为0.09 m，可分为2个阶段：1997—2002年为逐渐减小趋势，年均减幅为0.037 $m \cdot a^{-1}$；2002—2017年为增加趋势，年均增幅为0.019 $m \cdot a^{-1}$；(2) 地下水埋深空间上为扇形分布，以大武口区为原点，黄河为扇形弧段，从西往东逐渐减小，各月时空分布变化主要受区域灌溉水平影响；(3) 地下水埋深空间结构均为高斯模型，块金系数分布在1.39%~3.08%，为强烈的空间自相关性，空间异质性主要受灌区本身的地质结构以及补给量和排泄量等因素影响，而影响程度依次为：农业灌溉取黄河水量＞降雨量＞蒸发量＞人工开采。

**关键词：**地下水埋深；时空变化；影响因素；引黄灌区；石嘴山市

宁夏地处西北干旱缺水地区，随着沿黄生态经济带的快速发展，黄河水资源日趋紧张，干旱缺水问题已经严重制约引黄灌区经济和社会的发展。石嘴山市是银川平原降雨量最少、蒸发最强烈、盐渍化程度最严重地区，目前，盐渍化耕地面积4.06×$10^4$ $hm^2$，占总耕地面积的48.35%[1]。引黄灌区土壤盐渍化根本原因是区域地下水位较高[2-4]，因此，控制地下水位在合理的深度是防治土壤盐渍化发生的重要途径[5-6]。同时，随着工、农业快速发展、产业转型升级及老工业基地改造加快，水资源需求量剧增，地下水资源的开发利用强度逐步扩大[7]，宁夏5个地下水超采区中石嘴山分布4个[8]，区域地下水超采问题突出。

地下水埋深受气候条件及人类活动影响[9]，其中，降雨量[10]、蒸发量[11]、灌溉水量[12-13]、人工开采[14]被认为是引黄灌区地下水埋深的主要影响因素，但不同影响因素的影响程度随研究区域不同而不同。目前，针对石嘴山市引黄灌区地下水埋深的影响因素研究报道较少，因此，以石嘴山市引黄灌区76眼长序列地下水监测井数据为基础，研究地下水埋深时空演变规律及其影响因素，以期为该区域土壤盐渍化防治、地下水开发利用与保护提供决策依据[15-16]。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

石嘴山市位于宁夏北部，地处105°58′～106°39′E，38°21′～39°25′N，为我国西北内陆区，东跨黄河相邻内蒙古，西踞贺兰山东麓，地势西高东低。包括贺兰山区、平原区及鄂尔多斯高原区，其中，平原区包括山前洪积倾斜平原和黄河冲湖积平原。属中温带干旱气候，多年平均降水量170.42 mm，年内降水主要集中在6—9月，占全年总降水量的76.78%。年均蒸发量为1160.59 mm。石嘴山市耕地面积8.38×$10^4$ $hm^2$，其中盐渍化面积4.06×$10^4$ $hm^2$，占比48.35%，石嘴山市2017年盐渍化面积统计见表1。

根据文献[8]可知，石嘴山市2017年总取水

**收稿日期：**2019－11－18； **修订日期：**2020－04－08
**基金项目：**2017年宁夏西部大开发重点项目-石嘴山市引黄灌区浅层地下水开发利用项目前期研究;南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放研究基金项目(2015490511)资助
**作者简介：**张娜(1988-),女,博士,高工,主要从事节水灌溉及盐碱地治理. E-mail: 710840895@qq.com
**通讯作者：**刘学军. E-mail: nx-lxj@163.com

**表1　2017年石嘴山市土壤盐渍化统计**

**Tab. 1　Statistics of soil salinization in Shizuishan City in 2017**

| | 非盐化 | 盐化 | 轻盐化 | 中盐化 | 重盐化 | 小计 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 面积/hm² | 43287.54 | 40529.50 | 27363.08 | 9914.21 | 3252.21 | 83817.03 |
| 比例/% | 51.65 | 48.35 | 32.65 | 11.83 | 3.88 | 100 |

$10.235\times10^{8}$ m³，其中地下水取水 $1.047\times10^{8}$ m³，占总取水量的11.23%（表2）。

### 1.2　水文地质概况

石嘴山市位于银川平原断陷盆地，第四系分布广泛，受基底构造影响，第四系沉积厚度呈现向平原边缘变薄的规律。研究区自西向东可分为山前单一潜水区和中东部"双层结构"区（图1）。单一潜水区主要由颗粒粗大的块石、碎石、砾卵石、砂砾石、砂类和黏性土组成，含水层渗透性强，地形坡度大，地下水交替强烈，主要接受基岩裂隙水、山区沟谷常年性地表水流及洪流的垂直渗入补给。中东部"双层结构"平原区地势平坦，含水层岩性颗粒较细，渗透性较差，地下水径流缓慢，补给来源主要有上游地下水的侧向补给、大气降水及引黄河水灌溉垂直入渗补给等。

### 1.3　数据来源

数据由宁夏回族自治区水文水资源勘测局提供。研究区内共布设76眼长序列地下水监测井（图2），每个月用皮尺与测绳测定6次（1日、5日、11日、16日、21日、26日），每次重复观测3次，每月地下水埋深值为6次观测值的平均值。时间分布及影响因素分析采用1997—2017年以月为步长数据，空间分布采用2017年以月为步长数据。

### 1.4　分析方法

利用SPSS 19.0对地下水埋深进行描述性统计特征及地下水埋深影响因素的偏相关分析。半方

**表2　2017年石嘴山市取水量统计**

**Tab. 2　Statistics of water intake of Shizuishan in 2017**　　/10⁸ m³

| 区域 | 农业 | | 工业 | | 城镇生活 | | 农村人畜 | | 生态 | 总取水量 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 合计 | 地下水 | 合计 | 地下水 | 合计 | 地下水 | 合计 | 地下水 | (湖泊补水) | 合计 | 地下水 |
| 大武口区 | 0.34 | 0.007 | 0.129 | 0.115 | 0.196 | 0.188 | 0.005 | 0.005 | 0.257 | 0.927 | 0.315 |
| 平罗县 | 6.577 | 0.084 | 0.209 | 0.164 | 0.07 | 0.05 | 0.035 | 0.035 | 0.04 | 6.931 | 0.333 |
| 惠农区 | 1.763 | 0.099 | 0.527 | 0.213 | 0.072 | 0.072 | 0.015 | 0.015 | | 2.377 | 0.399 |
| 小计 | 8.68 | 0.19 | 0.865 | 0.492 | 0.338 | 0.31 | 0.055 | 0.055 | 0.297 | 10.235 | 1.047 |
| 地下水取水量占比/% | | 2.19 | | 56.88 | | 91.72 | | 100 | | | 10.23 |

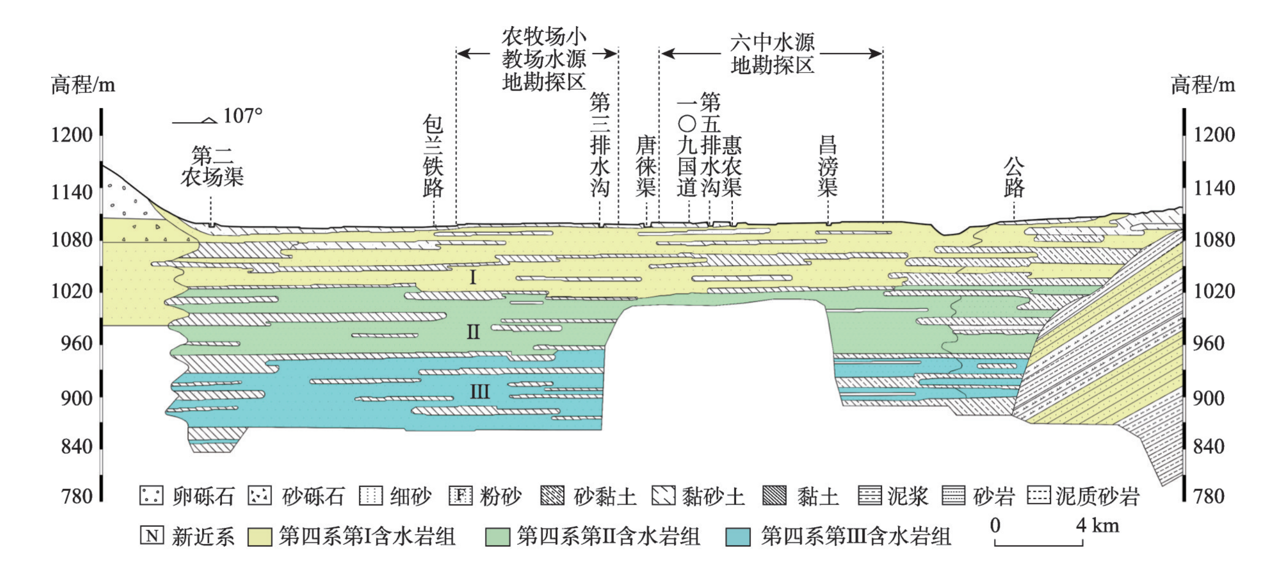



图1　水文地质剖面图

Fig. 1　Hydrogeological profile

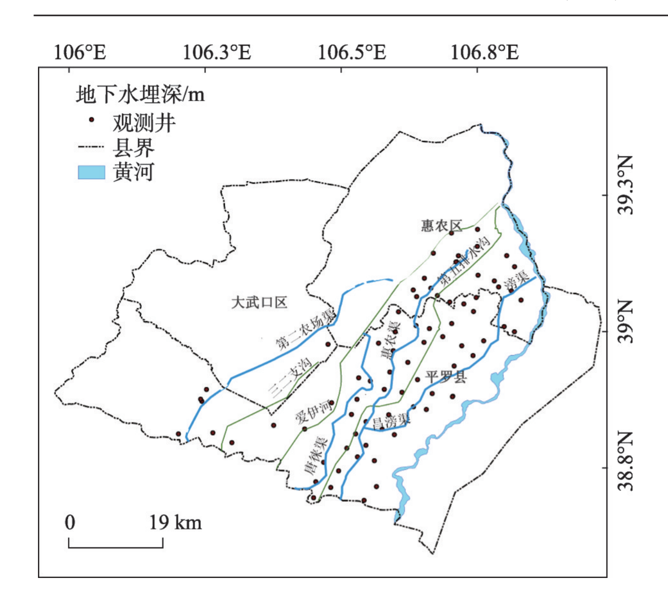



图2 石嘴山市地下水观测井分布示意图

Fig. 2 Distribution of groundwater observation well in Shizuishan City

差函数分析在GS+9.0中完成，在ArcGIS 10.0中Geo-Statistic Analyst模块完成克里格插值。

## 2 结果与分析

### 2.1 地下水埋深时间变化特征

2.1.1 年际变化特征 根据石嘴山市76眼地下水监测井长序列观测数据，1997—2017年年均地下水埋深具有明显的年际变化特征，整体为增大趋势，增大总幅度为0.09 m。整个时间序列可分为2个阶段，其中1997—2002年呈逐渐减小趋势，减小幅度约0.22 m，年均变幅0.037 $m\cdot a^{-1}$；2002年至今呈逐渐增加趋势，从1.26 m（2002年）增加至1.57 m（2017年），总增幅0.31 m，年均增幅0.019 $m\cdot a^{-1}$（图3）。

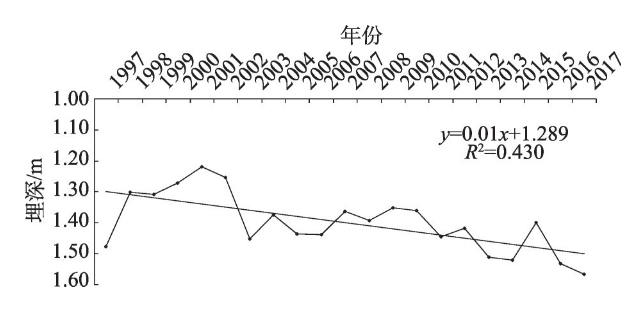



图3 1997—2017年石嘴山市浅层地下水埋深年际变化

Fig. 3 Annual variation characteristics of shallow groundwater depth in Shizuishan City from 1997 to 2017

2.1.2 年内变化特征 根据各监测井1997—2017年各月地下水埋深均值变化可以看出（图4），在整

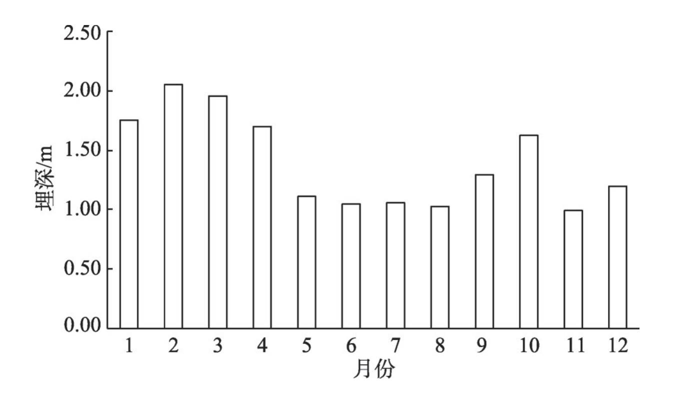



图4 石嘴山市不同月份浅层地下水埋深变化特征

Fig. 4 Variation characteristics of shallow groundwater depth in different months in Shizuishan City

个年度中，2月埋深最大，为2.05 m，之后随气温逐渐回升，土壤解冻，蒸发能力加强，埋深逐渐减小，但变幅较小，由2.05 m减小到1.70 m；从4月下旬开始春灌，埋深呈急速减小趋势，5月达到1.11 m，较4月减小了0.59 m，之后6—8月达到全年最小值，保持在1 m左右；9月田间灌水减少埋深开始增大，10月初停止放水，埋深增加到1.63 m；从10月底开始冬灌，使11月埋深再1次迅速减小，达到0.99 m，较10月上升了0.64 m。

### 2.2 地下水埋深描述性统计特征

由表3可知，各年埋深最小值均为0，最大值在10.43～12.39 m。2013—2017年埋深的均值分别为1.71 m、1.74 m、1.63 m、1.75 m及1.75 m。变异系数大小反映总体内部各样本之间的变异程度，一般分为3级：$Cv$<10%为弱变异性，10%<$Cv$<100%为中等变异性，$Cv$>100%为强变异性。各年变异系数分布在3.89%～4.96%，均为弱变异性，说明石嘴山市近年地下水埋深波动较小。

由表4可知，灌区1—5月、9月和10月变异系数在56%～95%，属于中等变异性；6—8月和11—12月变异系数大于100%，属于强变异性。

### 2.3 地下水埋深空间结构特征

按照决定系数较大、残差较小的原则，在GS+9.0软件中进行半方差函数分析（表5）。块金值$C_0$为随机变异量，块金系数$C_0/(C_0+C)$表示由随机因素引起的空间变异占总变异的比例，即空间变异程度。块金系数＜25%说明变量具有强烈的空间相关性，25%～50%说明变量具有明显的空间自相关，50%～75%时变量具有中等空间自相关，＞75%时变量空间自相关性微弱，变异主要由随机变异组

表3　石嘴山市地下水埋深描述性统计特征

Tab. 3　Descriptive statistical characteristics of groundwater depth in Shizuishan City

| 年份 | 最小值/m | 最大值/m | 均值/m | 中位数/m | 方差 | 标准差 | 变异系数/% | 偏度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2013年 | 0 | 10.43 | 1.71 | 1.53 | 1.29 | 76 | 3.89 | 20.26 |
| 2014年 | 0 | 11.51 | 1.74 | 1.5 | 1.45 | 84 | 4.26 | 22.27 |
| 2015年 | 0 | 12.39 | 1.63 | 1.4 | 1.51 | 92 | 4.88 | 29.12 |
| 2016年 | 0 | 12.28 | 1.75 | 1.54 | 1.55 | 88 | 4.8 | 27.48 |
| 2017年 | 0 | 12.72 | 1.75 | 1.52 | 1.54 | 88 | 4.96 | 29.68 |

表4　石嘴山市地下水埋深各月描述性统计特征

Tab. 4　Descriptive statistical characteristics of groundwater depth in each month in Shizuishan City

| 月份 | 最小值/m | 最大值/m | 均值/m | 中位数/m | 方差 | 标准差 | 变异系数/% | 偏度 | 峰度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1月 | 0.7 | 12.18 | 1.73 | 1.8 | 1.68 | 1.29 | 65 | 5.26 | 32.39 |
| 2月 | 0.66 | 12.24 | 2.05 | 2.1 | 1.62 | 1.27 | 56 | 5.19 | 32.12 |
| 3月 | 0.47 | 12.28 | 1.95 | 2.03 | 1.7 | 1.3 | 60 | 4.99 | 30.72 |
| 4月 | 0.33 | 12.38 | 1.7 | 1.76 | 1.92 | 1.39 | 70 | 4.81 | 28.12 |
| 5月 | 0 | 12.36 | 1.11 | 1.23 | 2.14 | 1.46 | 95 | 4.86 | 27.51 |
| 6月 | 0 | 12.39 | 1.03 | 1.12 | 2.32 | 1.52 | 110 | 4.64 | 25.78 |
| 7月 | 0 | 12.32 | 1.05 | 1.07 | 2.31 | 1.52 | 117 | 4.86 | 27.36 |
| 8月 | 0 | 12.72 | 1.03 | 1.08 | 2.31 | 1.52 | 115 | 4.89 | 27.88 |
| 9月 | 0 | 12.68 | 1.38 | 1.52 | 2.11 | 1.45 | 83 | 4.81 | 27.93 |
| 10月 | 0.58 | 12.7 | 1.63 | 1.86 | 1.92 | 1.38 | 66 | 4.87 | 28.8 |
| 11月 | 0.05 | 12.54 | 0.99 | 1.01 | 2.31 | 1.52 | 113 | 4.83 | 26.98 |
| 12月 | 0 | 12.33 | 1.26 | 1.21 | 2.16 | 1.47 | 101 | 5.08 | 29.44 |

表5　地下水埋深半方差结构

Tab. 5　Semi variance structure of groundwater depth

| 月份 | 模型 | $C_0$ | $C_0$+C | 变程/km | $C_0$/$C_0$+C/% | $R^2$ | RSS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Gaussian | 0.12 | 6.249 | 0.635 | 1.92 | 0.604 | 14.4 |
| 2 | Gaussian | 0.12 | 6.249 | 0.654 | 1.92 | 0.595 | 13.8 |
| 3 | Gaussian | 0.1 | 6.209 | 0.649 | 1.61 | 0.591 | 14.4 |
| 4 | Gaussian | 0.11 | 7.229 | 0.692 | 1.52 | 0.605 | 15.1 |
| 5 | Gaussian | 0.21 | 7.429 | 0.672 | 2.83 | 0.617 | 15.9 |
| 6 | Gaussian | 0.19 | 7.389 | 0.644 | 2.57 | 0.628 | 17.1 |
| 7 | Gaussian | 0.14 | 7.289 | 0.630 | 1.92 | 0.634 | 17.8 |
| 8 | Gaussian | 0.2 | 7.409 | 0.640 | 2.70 | 0.616 | 18.4 |
| 9 | Gaussian | 0.18 | 7.369 | 0.679 | 2.44 | 0.616 | 15.5 |
| 10 | Gaussian | 0.15 | 6.309 | 0.653 | 2.38 | 0.607 | 13.4 |
| 11 | Gaussian | 0.23 | 7.469 | 0.649 | 3.08 | 0.618 | 17.7 |
| 12 | Gaussian | 0.19 | 7.389 | 0.646 | 2.57 | 0.612 | 18.6 |
| 年均 | Gaussian | 0.1 | 7.209 | 0.670 | 1.39 | 0.62 | 15.6 |

成，不适合采用空间插值的方法进行空间预测[17]。由表5可知，各月及年均地下水埋深均符合高斯模型，块金系数分布在1.39%~3.08%，表明地下水埋深具有强烈的空间相关性，空间异质主要由自相关因素（灌域本身的地质结构以及补给量和排泄量等因素在空间上的变化）引起。

**2.4　地下水埋深空间变化特征**

2.4.1　年均空间分布特征　根据确定的最佳变异函数模型，在ArcGIS软件平台通过克里格插值，对2017年石嘴山市年均地下水埋深空间分布特征进

行分析(图5)。由图5可知,地下水埋深在空间上整体为扇形分布,其中大武口区为原点,黄河为扇形弧段,由西向东逐渐减小。>3 m区域主要分布在贺兰山山前洪积扇,大武口区,是石嘴山市工业聚集区,也是地下水漏斗所在地;1~2 m区域主要分布在平罗县和惠农区引黄灌溉区,约为总面积的2/3,主要受黄河水灌溉的入渗补给,地下水长期处于高水位状态;2~3 m区域分布在>3 m、1~2 m区域之间,为条形分布;<1 m区域主要分布在河(黄河)、湖(沙湖等)区。

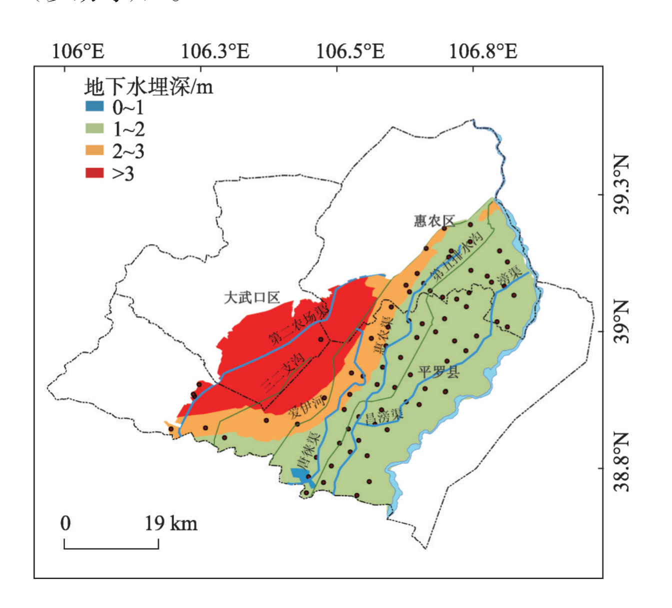



图5 2017年年均地下水埋深空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of annual average groundwater depth in 2017

2.4.2 各月空间分布特征 由图6可知,1—3月随温度上升,蒸发能力增强,2~3 m面积逐渐扩大;4月随农田灌溉期的到来,埋深逐渐减小,1~2 m面积增大,2~3 m面积随之减小;5—8月为<1 m和1~2 m埋深面积交替出现,作为作物主要生长期,随灌溉水量的累计增加,<1 m埋深面积逐渐扩大,7月达到峰值,8月逐渐降低,9月降低到与5月相当,10月基本消失;从10月20日冬灌开始,11月埋深<1 m面积再次迅速扩大;12月以1~2 m埋深面积为主,<1 m埋深面积零星分布;埋深>3 m区域主要集中在大武口区附近,分布空间相对稳定,且其分布在不同月份变化不大。

**2.5 地下水埋深影响因素分析**

石嘴山市引黄灌区地下水动态变化受降水、蒸发、引黄灌溉和人为开采等因素综合影响,根据地下水埋深与降雨量、蒸发量、农业灌溉取黄河水量、人工开采量的偏相关分析,确定灌区地下水埋深影响因素。在偏相关分析中,目标值为地下水埋深,自变量分别为降雨量、蒸发量、农业灌溉取黄河水量及人工开采量(表6),由表6可以看出,在剔除其他变量影响条件下,确定地下水埋深与降雨量、蒸发量、农业灌溉取黄河水量及人工开采量的偏相关系数依次为-0.361、0.228、-0.661及0.127,即影响程度依次为:农业灌溉取黄河水量>降雨量>蒸发量>人工开采,其中农业灌溉取黄河水量与降雨量达到0.01显著水平。

## 3 讨论与结论

地下水是区域重要水资源,也是影响灌区生态的关键因素,分析其时空分布特征及影响因素,对于明确区域地下水可持续开发利用,维持生态地下水位具有重要意义。得出灌区近年地下水埋深呈稳步增大趋势,与席文娟[18]在此区域研究结果一致,分析原因主要是因为近年来灌区大力发展节水灌溉措施导致黄河水入渗补给减少所致[14]。而年内地下水埋深变化及各月地下水埋深的描述性统计结果表明年内变化特征符合灌溉型,此规律进一步证明灌溉水量是影响地下水埋深的第一要素。空间分布结果表明,灌区地下水埋深由西向东逐渐减小。其中>3 m地下水埋深主要分布在贺兰山山前洪积扇倾斜平原,大武口区周围,靠近山前范围为单一潜水结构,向东逐渐过渡到潜水、承压水多层结构,含水层富水性强,水质良好,易于开采,所以该区域为石嘴山市现用水源地及工业用地下水主要集中区,经长期开采已形成地下水漏斗,同时,由于其主要受基岩裂隙水、山区沟谷常年性地表水流及洪流的垂直渗入补给,受黄河水灌溉入渗补给较少,故其分布在不同月份变化不大,该区域下一步应尽快完成生活、工业用地下水替换水源,减少地下水开采,以解决地下水漏斗问题。1~2 m地下水埋深主要分布在黄河冲湖积平原,为潜水、承压水多层结构区,是石嘴山市主要农业灌溉区,受大量黄河水灌溉入渗补给,各月分布受灌溉季节影响,地下水长期处于高水位状态,土壤盐渍化问题突出,故应加大地下水开采力度,发展井渠结合灌溉,减少黄河灌溉水量。本文就灌区地下水资源管

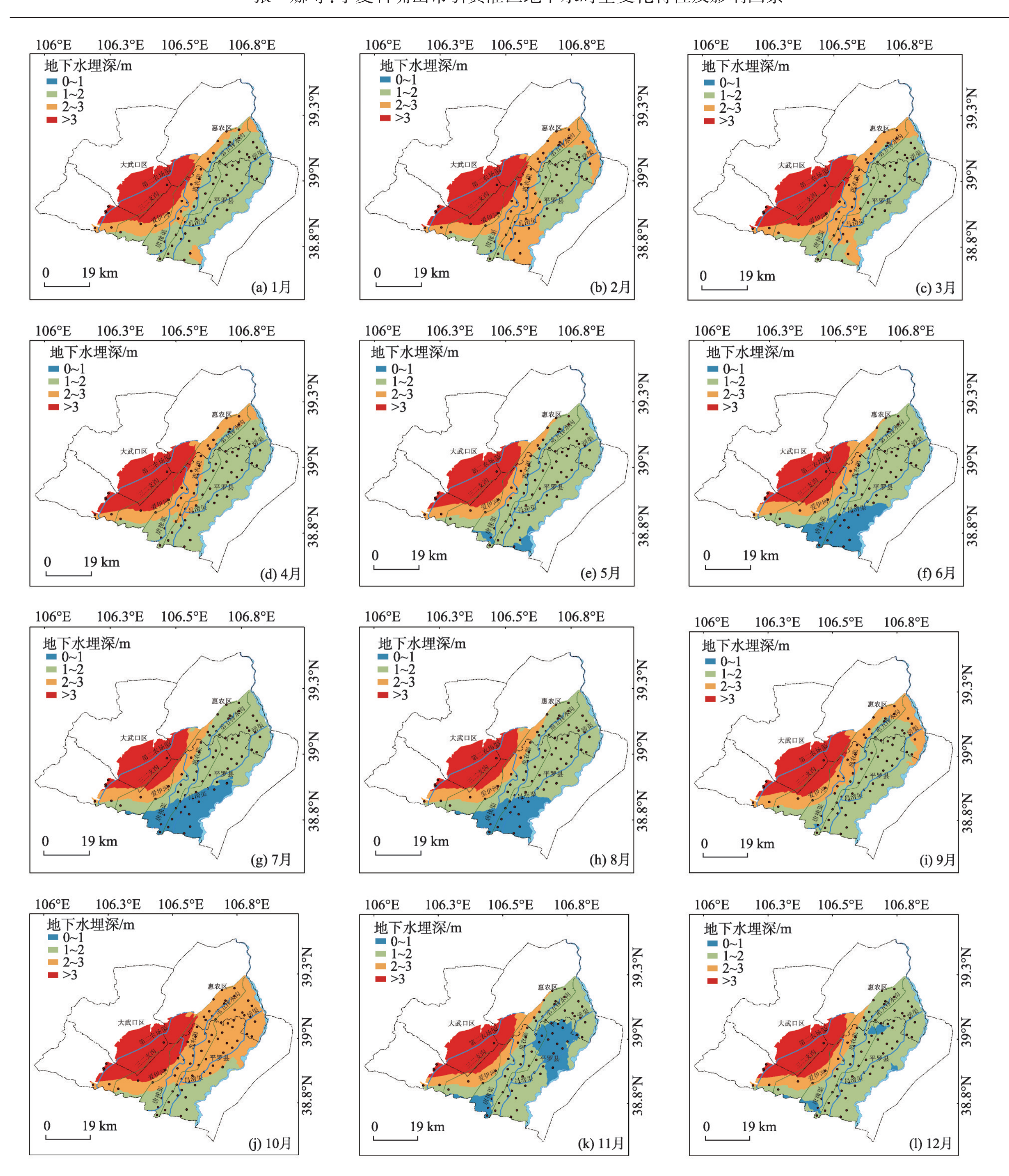



图6　2017年1—12月月均地下水埋深空间分布

Fig. 6　The spatial distribution of average groundwater depth from January to December in 2017

**表6　地下水埋深影响因素偏相关分析**

**Tab. 6　The partial correlation analysis of influencing factors of groundwater depth**

| 控制变量 | 影响变量 | 相关系数 | 显著性 |
|---|---|---|---|
| 蒸发量、农业灌溉取黄河水量、人工开采 | 降雨量 | −0.361 | 0.005 |
| 降雨量、农业灌溉取黄河水量、人工开采 | 蒸发量 | 0.228 | 0.085 |
| 降雨量、蒸发量、人工开采 | 农业灌溉取黄河水量 | −0.661 | 0 |
| 降雨量、蒸发量、农业灌溉取黄河水量 | 人工开采 | 0.127 | 0.18 |

理提出相关建议，但较为笼统，未来，应结合石嘴山市经济社会发展规划，考虑区域供水保障、盐碱地防治等要求，明确以区域地下水环境保护与可持续利用为着眼点的地下水开发利用区划。

空间结构特征分析表明，灌区地下水埋深具有强烈的空间自相关性，空间异质性主要由灌域本身的地质结构以及补给量和排泄量等因素在空间上的变化引起，而根据地下水埋深影响因素分析表明，不同因素的影响程度依次为：引黄水量＞降雨量＞蒸发量＞人工开采，得出引黄灌溉水量对灌区地下水埋深影响程度最大而人工开采最小，主要是因为黄河水是灌区主要水源，其年取水量达 $9.19\times10^8$ $m^3$（89.77%），主要用于农业灌溉，灌溉水量为 $8.49\times10^8$ $m^3$，全年渠系渗漏补给和灌溉田间入渗补给之和占石嘴山地区地下水补给总量的76.7%[18]，而地下水取水量仅 $1.047\times10^8$ $m^3$（10.23%），占区域地下水总排泄量的18.84%，而潜水蒸发占50%以上[18]，进一步说明，地下水在农业灌溉区具有较大的开采潜力，目前，地下水取水量占区域农业、工业、城镇生活、农村人畜总取水量的比例分别为2.19%、56.88%、91.72%、100%，即农业取用地下水量比例较小，未来，应大力推进井渠结合灌溉模式，加大农业灌溉用地下水量。

**参考文献（References）：**


[1] 赵文娟, 黄凌. 宁夏银北试验区盐渍土壤盐分运移数值模拟[J]. 人民黄河, 2018, 40(2): 152-156. [Zhao Wenjuan, Huang Ling. Numerical simulation of salt movement in Yinbei area of Ningxia Autonomous Region[J]. Yellow River, 2018, 40(2): 152-156. ]

[2] 窦旭, 史海滨, 苗庆丰, 等. 盐渍化灌区土壤水盐时空变异特征分析及地下水埋深对盐分的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 246-253. [Dou Xu, Shi Haibin, Miao Qingfeng, et al. Temporal and spatial variability analysis of soil water and salt and the influence of the depth to groundwater on salt in saline irrigation area[J]. Journal of Soil Water Conservertion, 2019, 33(3): 246-253. ]

[3] 徐英, 葛洲, 王娟, 等. 基于指示Kriging法的土壤盐渍化与地下水埋深关系研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(1): 123-130. [Xu Ying, Ge Zhou, Wang Juan, et al. Study on relationship between soil salinization and the depth to groundwater based on indicator Kriging[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(1): 123-130. ]

[4] Ibrakhimov M, Khamzina A, Forkutsa I, et al. the depth to groundwater and salinity: Spatial and temporal distribution and influence on soil salinization in Khorezm region (Uzbekistan, Aral Sea Basin) [J]. Irrigation and Drainage Systems, 2007, 12(3): 219-236.

[5] 赵锁志, 孔凡吉, 王喜宽, 等. 地下水临界深度的确定及其意义探讨以河套灌区为例[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2008, 29(4): 164-167. [Zhao Suozhi, Kong Fanji, Wang Xikuan, et al. Determination of the critical the depth to groundwater and its significance discussion take the Hetao Irrigation Area as an example[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University(Natural Science Edition), 2008, 29(4): 164－167. ]

[6] 李明, 宁立波, 卢天梅. 土壤盐渍化地区地下水临界深度确定及其水位调控[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(5): 46-50. [Li Ming, Ning Libo, Lu Tianmei. Determination and the control of critical the depth to groundwater in salinization area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(5): 46-50. ]

[7] 李岩, 司建宁, 陈玉春. 宁夏地下水监测现状分析及思考[J]. 农业科学研究, 2016, 3(37): 62-64. [Li Yan, Si Jianning, Chen Yuchun. Analysis and thinking on the current situation of groundwater monitoring in Ningxia[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2016, 3(37): 62-64. ]

[8] 2017年宁夏回族自治区水资源公报[R]. 宁夏: 宁夏回族自治区水利厅, 2017. [Ningxia Water Resources Bulletin in 2017[R]. Ningxia: Department of Water Resources of Ningxia Hui Autonomous Region, 2017. ]

[9] 李生潜, 张彦洪, 马雁萍, 等. 石羊河流域盆地地下水动态变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(12): 145-150. [Li Shengqian, Zhang Yanhong, Ma Yanping, et al. Analysis of groundwater dynamic changes in Shiyang river basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(12): 145-150. ]

[10] 苏阅文, 冯绍元, 王娟, 等. 内蒙古河套灌区地下水位埋深分布规律及其影响因素分析[J]. 中国农村水利水电, 2017(7): 33-37. [Su Yuewen, Feng Shaoyuan, Wang Juan, et al. An analysis of distribution regularities and the influencing factors of the depth to groundwater in the Hetao Irrigation District of Inner Mongolia [J]. China Rural Water and Hydropower, 2017(7): 33-37. ]

[11] 杨光, 粟晓玲. 基于随机森林的黑河中游地下水埋深变化及成因[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 109-114. [Yang Guang, Su Xiaoling. Change of the depth to groundwater and its causes in middle stream of the Heihe River Basin based on the random forest [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1): 109-114. ]

[12] 岳卫峰, 孟恺恺, 侯凯旋, 等. 河套灌区地下水埋深时空变异特征及其影响因素[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(5): 81-89. [Yue Weifeng, Meng Kaikai, Hou Kaixuan, et al. Study on spatial and temporal variation of the depth to groundwater and its influencing factors in Hetao Irrigation District[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2019, 17(5): 81-89. ]

[13] 张叶, 刘兵, 何新林, 等. 干旱灌区地下水位动态变化及驱动因素分析[J]. 节水灌溉, 2017(6): 63-67. [Zhang Ye, Liu Bing, He Xinlin, et al. Change of the depth to groundwater and impact factors in arid irrigation area[J]. Water Saving Irrigation, 2017(6): 63-67. ]

[14] 杨怀德, 冯起, 郭小燕, 等. 基于回归模型预测的民勤绿洲地下水位动态驱动因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(2): 98−103. [Yang Huaide, Feng Qi, Guo Xiaoyan, et al. Analysis on the variation of the depth to groundwater and its influence factors in Minqin Oasis based on the regression model[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(2): 98−103. ]
[15] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 1202−1210. [Guan Xiaoyan, Wang Shaoli, Gao Zhanyi, et al. Spatiotemporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(4): 1202 − 1210. ]
[16] 夏江宝, 赵西梅, 赵自国, 等. 不同潜水埋深下土壤水盐运移特征及其交互效应[J]. 农业工程学报, 2015, 31(15): 93−100. [Xia Jiangbao, Zhao Ximei, Zhao Ziguo, et al. Migration characteristics of soil water and salt and their interaction under different the depth to groundwater[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31 (15): 93−100. ]
[17] 李祥东, 邵明安, 赵春雷. 西北干旱区土壤水力参数空间变异与模拟[J]. 干旱区研究, 2019, 36(6): 1325−1332. [Li Xiangdong, Shao Mingan, Zhao Chunlei. Spatial variability and simulation of soil hydraulic parameters in arid Northwest China[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(6): 1325−1332. ]
[18] 席文娟. 宁夏石嘴山地区地下水水质模拟与变化趋势分析[D] . 西安: 长安大学, 2013. [Xi Wenjuan . Simulation of Groundwater Quality and Ariation Tendency in Shuizuishan Area, Ningxia, Northwest China [D] . Xi'an: Chang'an University, 2013. ]



# Temporal and spatial characteristics of groundwater and its influencing factors in the Yellow River diversion irrigation area of Ningxia Shizuishan

ZHANG Na, HAN Xiao-long, TANG Ying, ZHANG Hong-ling, LIU Xue-jun
(*Institute of Water Resources Research of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan* 750021, *Ningxia, China*)

**Abstract:** Taking the Yellow River diversion irrigation area in Shizuishan City, Ningxia Province, as the research object, based on 76 long-term groundwater monitoring wells, this paper combines classic statistics and geostatistics to analyze the spatial-temporal distribution of the depth to groundwater in the irrigation area and determine its influencing factors by partial correlation analysis. The results indicate that (1) the depth of groundwater near 20 a shows an enlargement trend as a whole, with a total raise of 0.09 m, which can be divided into two stages: from 1997 to 2002, it gradually decreased, with an average annual decrease of 0.037 $m \cdot a^{-1}$; from 2002 to 2017, it demonstrated an upward trend, with an average annual increase of 0. 019 $m \cdot a^{-1}$. (2) The groundwater depth is fan-shaped. With Dawukou District as the origin and the Yellow River as a fan-shaped arc, it gradually decreases from west to east. The spatial and temporal distribution of each month is mainly affected by the regional irrigation level. (3) The spatial structure of the depth to groundwater is a Gaussian model, and the nugget coefficient is distributed from 1. 39% to 3. 08%, which is a strong spatial autocorrelation. Moreover, spatial heterogeneity is mainly affected by the irrigation area's geological structure andrecharge and excretion factors. The sequence of the impact degree is as follows: water taken from the Yellow River for agricultural irrigation> rainfall > evaporation > artificial exploitation.
**Keywords:** depth to groundwater; temporal and spatial changes; influencing factors; Yellow River diversion irrigation area; Shizuishan City